

Patent Abstracts of Japan

P04NM-062EP

PUBLICATION NUMBER : 2001064005
PUBLICATION DATE : 13-03-01

APPLICATION DATE : 27-08-99
APPLICATION NUMBER : 11240749

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : IRIE YOSHINORI;

INT.CL. : C01B 31/02 C23C 16/26 C23C 28/00 F16C 33/24

TITLE : COATED SLIDING MEMBER AND ITS PRODUCTION

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain sliding characteristics such that the friction factor and attackability against a counter material are low in the case that the surface coated with a hard carbon film is coarse by laminating an upper coating film formed from a carbon film, a metal film or a compound film having a specified Knoop hardness different from that of a lower coating film onto the high hardness carbon film having the Knoop hardness in a specified range.

SOLUTION: An upper coating film consisting of a carbon film, a metal film or a compound film having a Knoop hardness <2,000 is laminated onto a high hardness hard carbon film having a Knoop hardness of 2,000 to 8,000. The low hardness hard carbon film having a Knoop hardness of $\geq 1,000$ and <2,000 is suitable. It is preferable that the thickness of the upper coating film is 0.1-1.5 μm , and the upper coating film consists of C, A, Si, Ti, Cr, Fe, Ni, Zn, Mo, Ag, W, Au, a sulfide such as molybdenum disulfide, a boride such as titanium boride or a phosphate such as manganese phosphate. The suitable thickness of the upper coating is not less than the value of the average surface roughness R_a and is not more than the value of the maximum surface roughness R_{max} of the coated film.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(8)

特開2001-64005

13

14

たピストンは4割、実施例3、6の処理を施したピストンは2割の摩擦抵抗の低減が認められた。

【0052】（実施例4）表面粗さRa0.05 μ m以下に仕上げた超硬合金基材上に、下層にヌーブ硬度4700の硬質炭素膜を、上層にヌーブ硬度1600の硬質炭素膜を成膜した。ここで、下層と上層とはともにカソードアークイオンブレーティング法で合成し、成膜条件*

*を傾斜的に変化させ、傾斜構造となるようにした。機械油及びエンジンオイル10W-40SH潤滑下でのピン・オン・ディスク試験を行った。結果を表7、表8に示す。

【0053】

【表7】

No.	基 材		下 層				成膜層	上 層			
	材 質	表面粗さ Ra (μ m)	膜 厚	ヌーブ 硬度	膜厚 (μ m)	製 法		膜 厚	ヌーブ 硬度	膜厚 (μ m)	製 法
実施例 4	超硬合金基	0.05以下	硬質炭素膜	4700	1.0	カソードアーク法	有り	硬質炭素膜	1600	0.4	カソードアーク法

【0054】

※ ※ 【表8】

No.	ピン・オン・ディスク試験									
	機械油中					エンジンオイル中				
	摩擦係数	摩耗 深さ (μ m)	相手材摩耗 痕直径 (μ m)	摩擦係数	摩耗 深さ (μ m)	相手材摩耗 痕直径 (μ m)	試験前		試験後	
							Ra	Rmax	Ra	Rmax
実施例 4	0.046	0.15	230	0.089	0.11	190	0.15	1.38	0.02	0.08

【0055】摩擦係数、摩耗痕深さ、相手材摩耗量のいずれも、小さい値が得られた。続いて、ステンレス製の加工品が搬送される超硬合金製の搬送用レールに、実施例4と比較例1、7の被覆処理を施した。これらを実際に使用したところ、糸コートのレールでは滑りが悪く製品の流れが滞るという問題が発生した。比較例1、7の処理のレールでは、製品の流れはスムーズであったが、製品のすべり面の傷による不良率が20%を超えた。一方実施例4のレールでは、製品の流れはスムーズで、傷の発生も極めて少なく傷による不良率は1%以下であった。

【0056】（実施例5）表面粗さRa0.18に仕上げたSCM415基材上に、イオンビーム蒸着法によりヌーブ硬度が2400である硬質炭素膜を約1 μ mの膜厚で形成した。この上層に、スパッタ法またはカソードアークイオンブレーティング法で各種金属、化合物の層を膜厚が約0.3 μ mとなるように積層した。比較のため、上層に用いた各種金属、化合物の単層膜を膜厚約1

μ mで形成した。

【0057】イオンビーム蒸着法では、原料にベンゼンを適用した。イオン化機構部にベンゼンガスを導入し、これをイオン化し、マイナス100Vから1000Vに印加した基板電極にベンゼンイオンを照射することにより硬質炭素膜を形成した。スパッタ法は、固体ターゲットで準備し、アルゴン雰囲気下でマグネトロンスパッタ法によりスパッタ蒸着を行なった。一方カソードアークイオンブレーティング法は、窒化チタンや窒化チタンアルミの合成に適用した。窒素ガス雰囲気中で、チタンまたはチタンアルミ合金ターゲット表面で陰極アーク放電を発生させ、雰囲気中の窒素と反応させて基板上に窒化物を堆積させた。

【0058】得られた膜につき、乾式とエンジンオイル10W-40SH潤滑下でのピン・オン・ディスク試験を実施した。結果を表9、表10に示す。

【0059】

【表9】

15

(S)

特開2001-64005

16

No.	材料	表面粗さ Ra (μm)	下 層				処理層	上 層			
			膜	2-7 硬度	膜厚 (μm)	製 法		膜	2-7 硬度	膜厚 (μm)	製 法
実施例 5.1	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	炭素	650	0.4	2A'法
実施例 5.2	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	アルミニウム	15	0.3	2A'法
実施例 5.3	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	シリコン	800	0.8	2A'法
実施例 5.4	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	チタン	60	0.8	2A'法
実施例 5.5	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	クロム	180	0.8	2A'法
実施例 5.6	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	鉄	100	0.9	2A'法
実施例 5.7	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	ニッケル	60	0.8	2A'法
実施例 5.8	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	銅	50	0.4	2A'法
実施例 5.9	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	モリブデン	70	0.8	2A'法
実施例 5.10	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	銀	20	0.4	2A'法
実施例 5.11	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	タングステン	300	0.3	2A'法
実施例 5.12	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	金	25	0.8	2A'法
実施例 5.13	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	二酸化バナジウム	40	0.3	2A'法
実施例 5.14	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	リン酸バナジウム	60	0.8	2A'法
実施例 5.15	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	ホウ化タンタル	800	0.8	2A'法
実施例 5.16	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	白金	40	0.8	2A'法
実施例 5.17	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	銅	110	0.4	2A'法
比較例 5.1	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	窒化チタン	2200	8.4	ボート法
比較例 5.2	SCM415	0.18	硬質炭素膜	2400	1.0	付与・A膜着法	無し	窒化タンタル	3200	0.4	ボート法

【0060】

25【表10】

No.	ピン・オン・ディスク試験									
	乾式大気中					エンジンオイル中				
	摩擦係数	摩耗量 (μm)	相手摩耗 痕直径 (μm)	摩擦係数	摩耗量 (μm)	相手摩耗 痕直径 (μm)	試験前		試験後	
							Ra (μm)	Rmax (μm)	Ra (μm)	Rmax (μm)
実施例 5.1	0.09	0.22	220	0.041	0.18	260	0.21	0.65	0.01	0.08
実施例 5.2	0.15	0.28	350	0.045	0.25	220	0.22	0.78	0.03	0.08
実施例 5.3	0.18	0.28	390	0.048	0.28	350	0.23	0.82	0.03	0.08
実施例 5.4	0.17	0.26	350	0.048	0.28	310	0.19	0.78	0.02	0.07
実施例 5.5	0.14	0.22	310	0.044	0.19	280	0.23	1.01	0.03	0.09
実施例 5.6	0.15	0.28	350	0.046	0.23	260	0.22	0.91	0.02	0.08
実施例 5.7	0.15	0.25	360	0.045	0.25	310	0.18	0.68	0.02	0.09
実施例 5.8	0.12	0.23	320	0.047	0.26	240	0.25	0.96	0.01	0.04
実施例 5.9	0.15	0.28	350	0.047	0.22	350	0.22	0.88	0.03	0.12
実施例 5.10	0.14	0.21	320	0.048	0.19	230	0.21	0.89	0.02	0.10
実施例 5.11	0.18	0.22	380	0.046	0.21	340	0.20	0.88	0.03	0.09
実施例 5.12	0.10	0.22	350	0.042	0.20	290	0.23	1.02	0.01	0.04
実施例 5.13	0.09	0.20	240	0.044	0.18	220	0.21	0.78	0.01	0.05
実施例 5.14	0.10	0.19	260	0.046	0.14	210	0.24	0.95	0.01	0.08
実施例 5.15	0.11	0.19	280	0.044	0.18	280	0.19	0.82	0.01	0.06
実施例 5.16	0.14	0.26	350	0.045	0.20	260	0.23	0.98	0.02	0.09
実施例 5.17	0.16	0.28	390	0.047	0.28	340	0.24	0.79	0.02	0.07
比較例 5.1	0.22	0.28	580	0.058	0.19	630	0.21	1.49	0.08	0.26
比較例 5.2	0.23	0.21	550	0.059	0.14	720	0.24	1.68	0.07	0.29

【0061】摩擦係数に関しては、単層ではいずれの膜も摩擦係数は0.05以上と高い。一方積層膜については、上層に窒化チタンや窒化チタンアルミニウムを適用した構造を除き0.04から0.05の間と低い。

【0062】相手摩耗量に関しては、単層では膜の硬度が低いものは磨耗が小さい傾向にある。積層膜に関しては、上層に窒化チタンや窒化チタンアルミニウムを適用した構造を除き磨耗量は小さめである。

【0063】続いて、エンジンの動弁系のSCM415 50

製のリフターのカムとの摺動面に、実施例5.15の処理と比較例5.1の処理を施した。実施例5.15のリフターは、未コートのリフターに対し6割、比較例5.1に対し3割の摩擦抵抗の低減が確認された。また、カムの磨耗に関しても、未コートの約半分、比較例5.1の1/15の磨耗量であった。

【0064】（実施例6）表面粗さRa0.05 μm 以下に仕上げたSUS304基材上に、下層にニオブ硬度3900のカソードアークイオンブレイディング法によ

(10)

特開2001-64005

17

18

る硬質炭素膜を膜厚1 μm で形成し、その上層に二硫化モリブデンをスパッタ法にて積層した。上層の二硫化モリブデンの膜厚は0.05 μm から1.5 μm まで変化させた。

* SH潤滑下でのピン・オン・ディスク試験を行った。結果を表11、表12に示す。

【0066】

【表11】

【0065】乾式大気中とエンジンオイル中W-40*

No.	基 材		下 層				積層層	上 層			
	材 質	表面粗さ Ra	膜 厚	1-7 硬度	膜厚	製 法		膜 厚	1-7 硬度	膜厚	製 法
		(μm)			(μm)					(μm)	
実施例 6.1	SUS304	0.05 以下	硬質炭素膜	3900	1.0	カ・ド・ア・法	無し	二硫化モリブデン	40	0.1	スパッタ法
実施例 6.2	SUS304	0.05 以下	硬質炭素膜	3900	1.0	カ・ド・ア・法	無し	二硫化モリブデン	40	0.3	スパッタ法
実施例 6.3	SUS304	0.05 以下	硬質炭素膜	3900	1.0	カ・ド・ア・法	無し	二硫化モリブデン	40	0.5	スパッタ法
実施例 6.4	SUS304	0.05 以下	硬質炭素膜	3900	1.0	カ・ド・ア・法	無し	二硫化モリブデン	40	0.05	スパッタ法
実施例 6.5	SUS304	0.05 以下	硬質炭素膜	3900	1.0	カ・ド・ア・法	無し	二硫化モリブデン	40	1.0	スパッタ法
実施例 6.6	SUS304	0.05 以下	硬質炭素膜	3900	1.0	カ・ド・ア・法	無し	二硫化モリブデン	40	1.5	スパッタ法

【0067】

※ ※ 【表12】

No.	ピン・オン・ディスク試験									
	乾式大気中			エンジンオイル中						
	摩擦係数	摩耗深さ	相手摩耗痕直径	摩擦係数	摩耗深さ	相手摩耗痕直径	試験前		試験後	
		(μm)	(μm)		(μm)	(μm)	Ra	Rmax	Ra	Rmax
							(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
実施例 6.1	0.1	0.10	390	0.044	0.10	260	0.09	0.95	0.03	0.15
実施例 6.2	0.12	0.11	380	0.045	0.15	280	0.11	1.02	0.02	0.10
実施例 6.3	0.10	0.09	310	0.049	0.16	230	0.11	1.09	0.01	0.05
実施例 6.4	0.10	0.08	510	0.041	0.07	420	0.08	0.99	0.05	0.21
実施例 6.5	0.11	0.13	320	0.051	0.15	220	0.13	1.23	0.02	0.08
実施例 6.6	0.10	0.18	300	0.066	0.18	310	0.12	1.25	0.02	0.06

【0068】上層の二硫化モリブデンの膜厚が0.05 μm と薄い場合、相手材摩耗痕直径が420 μm と大きい。このときの表面粗さRaは0.08 μm であった。一方、上層の二硫化モリブデンの膜厚が1.5 μm と厚い場合、摩擦係数が0.056と大きかった。この時の最大表面粗さRmaxは1.25 μm であった。

【0069】続いて、工業用ミシンのSUS304製の蓋の内面に、実施例6.1の処置を施した。実施例6.1の蓋は、未コート蓋に対し2.5倍の寿命向上が確認できた。

【0070】

【発明の効果】本発明によれば、摺動部材において硬質炭素膜を被覆した表面が粗い場合に、摩擦係数や相手攻★40

★摩耗性が小さい摺動特性を実現することができ有用である。

30 【図面の簡単な説明】

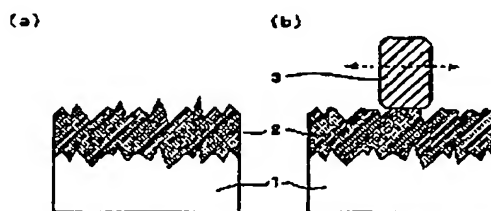
【図1】表面が粗い硬質炭素膜の摺動前及び摺動後の断面概略図である。

【図2】高硬度硬質炭素膜上に積層した低硬度硬質炭素膜の摺動前及び摺動後の断面概略図である。

【符号の説明】

- 1 基材
- 2 硬質炭素膜
- 3 相手材
- 4 高硬度硬質炭素膜
- 5 上層被膜（低硬度硬質炭素膜）

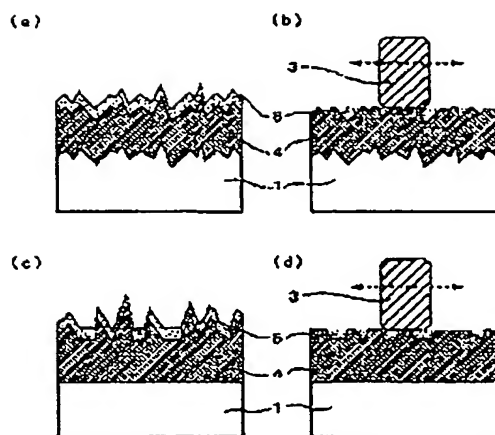
【図1】



(11)

特開2001-64005

【図2】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3J011 NA01 GA03 GA04 SB02 SB04
 SB05 SB12 SB13 SB14 SB15
 SB20 SD01 SE02 SE06
 4G046 CB03 CB08 CC05 CC06
 4K03G BA01 BA02 BA06 BA07 BA12
 BA14 BA18 BA20 BA21 BA27
 BA29 BA35 BA49 BA50 BB13
 CA02 CA03 CA05 DA02 FA01
 FA02 LA23
 4K044 AA02 AA06 AA13 BA02 BA06
 BA08 BA10 BA17 BA18 BA19
 BB02 BC01 BC06 CA13 CA14

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-64005

(P2001-64005A)

(43) 公開日 平成13年3月13日 (2001.3.13)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	チーエーエー (参考)
C 0 1 B 31/02	1 0 1	C 0 1 B 31/02	1 0 1 Z 3 J 0 1 1
C 2 3 C 16/26		C 2 3 C 16/26	4 G 0 4 6
28/00		28/00	B 4 K 0 3 0
F 1 6 C 33/24		F 1 6 C 33/24	Z 4 K 0 4 4

特許請求 未請求 請求項の数14 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-240749

(22) 出願日 平成11年8月27日 (1999.8.27)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜西丁目5番33号

(72) 発明者 織田 一彦

兵庫県伊丹市尾崎北一丁目1番1号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 入江 美紀

兵庫県伊丹市尾崎北一丁目1番1号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(74) 代理人 100078813

弁理士 上代 哲司 (外2名)

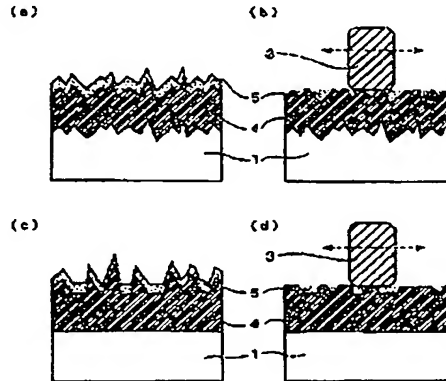
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 被覆摺動部材およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 平滑であれば極めて低い摩擦係数を示す硬質炭素膜も、基材や膜の表面粗さが大きくなると、摩擦係数や相手攻撃性が大きくなるという問題が発生する。本発明は、硬質炭素膜を被覆した表面が粗い場合に、摩擦係数や相手攻撃性が小さい摺動特性を実現する。

【解決手段】 硬質炭素膜が被覆された摺動部材において、ヌーブ硬度が2000以上8000以下である高硬度硬質炭素膜の上に、ヌーブ硬度が2000未満の炭素膜、金属膜または化合物膜からなる上層被覆膜が被覆されていることを特徴とする被覆摺動部材。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 硬質炭素膜が被覆された摺動部材において、ヌーブ硬度が2000以上8000以下である高硬度硬質炭素膜の上に、ヌーブ硬度が2000未満の炭素膜、金属膜または化合物膜からなる上層被膜が積層されていることを特徴とする被覆摺動部材。

【請求項2】 前記上層被膜が、ヌーブ硬度1000以上2000未満の低硬度硬質炭素膜であることを特徴とする請求項1に記載の被覆摺動部材。

【請求項3】 前記高硬度炭素皮膜から前記上層被膜までの硬度が連続的に変化していることを特徴とする請求項1～請求項2のいずれかに記載の被覆摺動部材。

【請求項4】 前記上層被膜の膜厚が0.1μm以上1.5μm以下であることを特徴とする請求項2～請求項3のいずれかに記載の被覆摺動部材。

【請求項5】 前記上層被膜のヌーブ硬度が、20以上1000以下であることを特徴とする請求項1に記載の被覆摺動部材。

【請求項6】 前記上層被膜が、炭素、アルミニウム、シリコン、チタン、クロム、鉄、ニッケル、亜鉛、モリブデン、銀、タングステン、金、二硫化モリブデン等の硫化物、ホウ化チタン等のホウ化物、リン酸マンガン等のリン酸塩のいずれか1種類以上からなることを特徴とする請求項5に記載の被覆摺動部材。

【請求項7】 前記上層被膜の膜厚が、0.1μm以上0.5μm以下であることを特徴とする請求項5～請求項6のいずれかに記載の被覆摺動部材。

【請求項8】 前記上層被膜の膜厚が、被覆後の平均表面粗さRa以上であり最大表面粗さRmax以下であることを特徴とする請求項1～請求項3、請求項5～請求項6のいずれかに記載の被覆摺動部材。

【請求項9】 平均表面粗さRaが0.05μm以上0.3μm以下であることを特徴とする請求項1～請求項8のいずれかに記載の被覆摺動部材。

【請求項10】 母材が、鉄系合金、超硬合金、セラミックス、アルミニウム合金、あるいはマグネシウム合金であることを特徴とする請求項1～請求項9のいずれかに記載の被覆摺動部材。

【請求項11】 潤滑下で使用されることを特徴とする請求項1～請求項10のいずれかに記載の被覆摺動部材。

【請求項12】 エンジンオイル潤滑下で使用されることを特徴とする請求項1～請求項11のいずれかに記載の被覆摺動部材。

【請求項13】 マイクロ波プラズマCVD法、ECRプラズマCVD法、フィラメントCVD法、カソードアーキオンブレイティング法、あるいは高次の炭化水素ガスを原料としたプラズマCVD法により前記高硬度硬質炭素膜を形成することを特徴とする請求項1～請求項12のいずれかに記載の被覆摺動部材の製造方法。

(2)

特開2001-84005

2

【請求項14】 スパッタリング法、プラズマCVD法、あるいはカソードアーキオンブレイティング法により前記上層被膜を形成することを特徴とする請求項1～請求項13のいずれかに記載の被覆摺動部材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、表面コーティングを施した機械部品などの摺動部材に関するものである。

【0002】

【従来の技術】現在工業製品に使用されている摺動部材には、鋼やセラミックス材料など各種材料が使用されている。そして、その多くには、焼付や摩損抵抗を低減させるための各種試みがなされており、例えば、潤滑剤の使用、摺動面の形状や粗さの最適化、硬化処理、摺動面への被覆処理等が挙げられる。

【0003】摺動面の被覆処理に関しては、クロム処理、めっき処理、リン酸塩皮膜処理などが古くから適用されているが、最近では、二硫化モリブデン処理や窒化クロム処理、窒化チタン処理などが注目を浴びている。これらの例として、特開平7-118832号公報、特開昭61-87950号公報、特開平6-57407号公報等が挙げられる。

【0004】一方、硬質炭素膜は、ダイヤモンド構造を一部に有するアモルファス状の炭素膜あるいは水素化炭素膜で、アモルファスカーボン(a-C、a-C:H)、i-C(アイ・カーボン)、ダイヤモンド状炭素(Diamond like carbon: DLC)などとも呼ばれている。硬質炭素膜は、一般にヌーブ硬度が800から2000と高硬度で、多くの相手材料に対する摩擦係数の0.1から0.2と極めて低い、化学的にも安定で、多くの酸、アルカリに対して極めて高い耐食性を有している。また、電気抵抗率は106から1014Ωcmと高い絶縁性を有し、赤外線に対して高い透過性を有するなど、ダイヤモンドに類似した特性を多く有している。これらの優れた性質を活かして種々の分野への応用が期待されており、特に、耐摩耗性部品、摺動部品、電気・電子部品、赤外線光学部品および成型・成形部品等へのコーティングに関し開発が進められている。特に近年、ビデオ部品やビデオテープ・ハードディスクなどの潤滑性、耐摩耗性を向上させるための保護コーティング、各種回転軸、バルブ類の摩擦係数低減の潤滑性コーティング、ハンダやAlなど軟質金属の溶着防止の定型性コーティングなどで実用化が進んでいる。

【0005】硬質炭素膜の形成にはさまざまな手法がある。結晶質ダイヤモンド薄膜の形成に適用されているマイクロ波プラズマCVD法、ECRプラズマCVD法、フィラメント法などの他に、各種プラズマ源を用いたプラズマCVD法、炭素または炭化水素イオンを用いるイ

(3)

特開2001-64005

3

オンビーム蒸着法、固体炭素膜からスパッタリングやアーク放電、レーザー照射にて炭素を気化し基体上に成膜する手法等がある。対象基材や用途、処理数などによりこれらの手法は使い分けられている。

【0006】前述のように、硬質炭素膜は摺動特性、耐磨耗性に優れるため、摺動部材としての期待が高く、特開平6-227882に示されるように、一部の摺動部材には適用が進められている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】一般に、耐磨耗性において表面粗さは耐磨耗性や摩擦係数に大きく影響を及ぼす。平滑であれば極めて低い摩擦係数を示す硬質炭素膜も、基材や膜の表面粗さが大きくなると、摩擦係数や相手攻撃性が大きくなるという問題が発生する。本発明は、硬質炭素膜を被覆した表面が粗い場合に、摩擦係数や相手攻撃性が小さい摺動特性を表現することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明では、硬質炭素膜被覆部材の摩擦係数を低減するべく、次のものを提案する。

【0009】硬質炭素膜が被覆された摺動部材において、ヌープ硬度が2000以上8000以下である高硬度硬質炭素膜の上に、ヌープ硬度が2000未満の炭素膜、金属膜または化合物膜からなる上層被覆膜が積層されていることを特徴とする被覆摺動部材である。

【0010】下層のヌープ硬度が2000以上8000未満となる高硬度硬質炭素膜は、耐磨耗性に優れ、また摩擦係数も低い。しかし、基材が粗かったり、被覆が粗い場合には、摩擦係数と相手攻撃性が大きくなる。図1は、表面が粗い硬質炭素膜の場合の(a)摺動前、

(b)摺動後、の断面概略図である。

【0011】これを防ぐため、本発明においてはこの高硬度硬質炭素膜の上層に、ヌープ硬度が1000以上2000未満の比較的硬度が低い、低硬度硬質炭素膜を上層被覆膜として積層することとした。本発明の一側を示す概略図を図2に示す。(a)は、表面粗さが大きい基材の場合の摺動前、(b)は、表面粗さが大きい基材の場合の摺動後、(c)は、膜の表面が粗い場合の摺動前、

(d)は、膜の表面が粗い場合の摺動後、を示す。上層被覆膜の低硬度硬質炭素膜5は、摺動の初期に凸の部分が容易に研磨され、短時間で突起部の頂点が平滑になる。凹凸が基材または下層の高硬度硬質炭素膜4に起因する場合、凸部の研磨により下層の高硬度硬質炭素膜が部分的に表層に現れる。表層の硬度が比較的低い、低硬度硬質炭素膜は、硬度が高い硬質炭素膜よりやや凹となり、相手材と固体接触するのはやや凸となった硬度が高い硬質炭素膜の部分为主となる。全体的には平滑になるため、相手攻撃性は小さく、固体接触する硬度が高い硬質炭素膜の効果で摩擦係数は小さくなる。滑り下で使用さ

れる場合は、凹となった低硬度の硬質炭素膜の表面で潤滑剤が保持され、より低摩擦化される。

【0012】ここで、上層被覆膜の低硬度硬質炭素膜の膜厚は、0.1 μ m以上1.5 μ m以下であることをが望ましい。0.1 μ m以下では薄すぎて凸部の平滑化の機能を十分に果たせなく、1.5 μ m以上では厚膜化に伴う応力緩和の問題が新たに発生する。

【0013】また、上層被覆膜の低硬度硬質炭素膜の膜厚は、被覆後の平均表面粗さRa以上最大表面粗さRmax以下が好ましい。ここで、平均表面粗さRaと最大表面粗さRmaxは、上層被覆膜である低硬度硬質炭素膜を被覆した後の粗さで定義する。上層被覆膜の低硬度硬質炭素膜を被覆する前の高硬度硬質炭素膜の表面粗さも、Ra、Rmaxに近い値を示す。

【0014】なお、高硬度硬質炭素膜と低硬度硬質炭素膜とは独立した膜として積層されていてもよいし、硬さが厚さ方向に徐々に傾斜して変化してもよい。

【0015】硬質炭素膜は、結晶質ダイヤモンド薄膜の合成に適用されているマイクロ波プラズマCVD法、ECRプラズマCVD法、フィラメントCVD法等のほか、高周波や直流電圧、パルス直流電圧、ホロカソード、ホットカソードを適用したアークなどの各種プラズマ法を用いたプラズマCVD法、炭素または炭化水素イオンを用いるイオンビーム蒸着法、固体炭素膜からスパッタリングやアーク放電、レーザー照射にて炭素を気化し基体上に成膜する手法等が適用できる。

【0016】下層の高硬度硬質炭素膜の合成には、高硬度化に有利なマイクロ波プラズマCVD法、ECRプラズマCVD法、フィラメントCVD法、カソードアークイオンプレーティング法、あるいは高次の炭化水素ガスを原料とした各種プラズマCVD法のいずれかの手法を適用することが好ましい。

【0017】上層被覆膜の低硬度硬質炭素膜は、上記のいずれの方法でも比較的容易に合成することが出来るが、スパッタリング法、プラズマCVD法、カソードアークイオンプレーティング法のいずれかの手法を適用することが好ましい。それぞれの膜は、独立した設備で合成してもよいが、工業的には連続して処理できるプロセスが好ましい。

【0018】さらに本発明の特徴とするところは、硬質炭素膜が被覆された摺動部材において、高硬度硬質炭素膜上に、上層被覆膜として炭素膜または金属膜または化合物膜が被覆されており、下層の高硬度硬質炭素膜のヌープ硬度が2000以上8000以下であり、上層被覆膜の炭素膜または金属膜または化合物膜のヌープ硬度が20以上1000以下であることを特徴とする被覆摺動部材である。その効果は、低硬度硬質炭素膜と同様である。低硬度硬質炭素膜を上層とする場合と比較し、摩擦係数は若干大きくなるが、相手攻撃性は十分に低減することが出来る。

(4)

特開2001-64005

5

【0019】ここで、上層に適用される材料は、炭素、アルミニウム、シリコン、チタン、クロム、鉄、ニッケル、亜鉛、モリブデン、銀、タンゲステン、金、二硫化モリブデン等の硫化物、ホウ化チタン等のホウ化物、リン酸マンガンなどのリン酸塩のいずれか1種以上を用いることが好ましい。これらの中には、一般的なヌープ硬度が1000以上のホウ化チタン等も含まれるが、本発明では、非晶質のホウ化チタンのように硬度が低いものが好ましい。

【0020】また、上層の炭素膜または金属膜または化合物膜の膜厚は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。 $0.1\mu\text{m}$ 以下では薄すぎて凸部の平滑化の機能を十分に果たせなく、 $0.5\mu\text{m}$ 以上では摩擦特性に優れた下層の高硬度硬質炭素膜の効果が弱れにくいためである。

【0021】また、上層の炭素膜または金属膜または化合物膜の膜厚は、被覆後の平均粗さ R_a 以上 R_{max} 以下が好ましい。ここで、平均粗さ R_a と R_{max} は、上層被覆の炭素膜または金属膜または化合物膜を被覆した後の表面粗さとする。上層被覆の炭素膜または金属膜または化合物膜を被覆する前の高硬度硬質炭素膜の表面粗さも、 R_a 、 R_{max} に近い値を示す。

【0022】本発明の構造を持つ被覆部材は、平均表面粗さは R_a $0.05\mu\text{m}$ 以上 $0.3\mu\text{m}$ 以下であるものが最適である。この平均表面粗さ R_a は、上層被覆の炭素膜または金属膜または化合物膜を被覆した後の表面粗さとする。上層被覆の炭素膜または金属膜または化合物膜を被覆する前の高硬度硬質炭素膜の表面粗さも、 R_a 、 R_{max} に近い値を示す。

【0023】平均表面粗さ R_a が $0.05\mu\text{m}$ 以下の場合は十分に粗さが小さいので、平滑化を目的とする低硬度硬質炭素膜または炭素膜または金属膜または化合物膜を上層に被覆する必要はない。平均表面粗さ R_a が $0.3\mu\text{m}$ 以上であっても本構造を適用した方が、摩擦や磨耗係数を小さくする効果はある。しかし、あらかじめ基材の粗さを十分に小さくするなどして、出来るかぎり表面粗さ R_a を $0.3\mu\text{m}$ 以下にした方がより効果的である。

【0024】膜構造に関しては、下層である高硬度硬質炭素膜のさらに下層に、密着性の向上や、母材硬度の向上を目的として、さらに中間層をもうけることも出来る。その中間層の例としては、シリコン、炭化ケイ素、炭化チタン、炭化タンゲステンなどが挙げられる。

【0025】ここで、炭素膜は硬質炭素膜と同様の各種手法で合成できるが、特にスパッタ法やカソードアークイオンレーティング法、プラズマCVD法などが適している。工業的には下層の硬質炭素膜と連続化に適した方法が好ましい。

【0026】金属膜、化合物膜に関しても、公知の各種手法で合成できる。特に好ましいのは、スパッタ法やカ

6

ソードアークイオンレーティング法、プラズマCVD法などであり、これら以外のもレーザーアブレーション法などが適用できる。

【0027】本発明において、膜のヌープ硬度は、あらかじめ単層で得られた膜の硬さで成膜条件を設定するのが一般的である。積層した後のそれぞれの膜の硬さを測定するには、膜表面を斜めに研磨するかまたはホール膜厚計による研磨を行うことで、各層のヌープ硬度を測定することができる。

【0028】これらの被覆補助部材の母材としては、各種鋼材、WC基の超硬合金、窒化珪素、炭化珪素、酸化アルミ、酸化ジルコニウムなどをベースにした各種セラミックス、アルミニウム合金、マグネシウム合金等が最適である。

【0029】使用環境としては、潤滑下、無潤滑下いずれの環境下でも効果がある。しかし、摩擦係数の差が現れにくい液体潤滑下でその効果は顕著となる。液体潤滑下でも、自動車エンジンオイルや機械油をはじめとする油潤滑下で使用すると摩擦損失の低減に極めて効果が大きい。

【0030】具体的な適用対象としては、高速滑動、高面圧滑動の部品に適用する。紡織・繊維関係では、家庭用・工業用ミシンの針や、糸通、各種軸受などの高速滑動部品に適用する。OA機器では、レーザープリンタなどのOA機器の高速軸受などが挙げられる。家電では、冷蔵庫やエアコンのコンプレッサ部品などの高面圧部品に適用する。自動車などの輸送機器においては、エンジン部品が挙げられ、ピストンやクランクシャフトなどの主運動系、カムとロッカーアーム・シム・リフター、バルブとバルブシートなどの動弁系部品、プランジャーなどの燃料噴射ポンプ周辺部品などが挙げられる。

【0031】

【発明の実施の形態】本発明の具体的な実施の形態については実施例で示すが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0032】

【実施例】(実施例1) 表面粗さ R_a $0.05\mu\text{m}$ 以下に仕上げたSUJ2基材上に、カソードアークイオンレーティング法によりヌープ硬度を800から7800までの範囲で変化させた硬質炭素膜を約 $1\mu\text{m}$ の膜厚で形成した。原料には、固体炭素ターゲットを使用し、真空または Ar などの不活性ガス雰囲気中で炭素ターゲット表面に陰極アーク放電を発生、炭素を気化させる。そして気化した炭素はアークプラズマによりイオン化、活性化し、負に印加された基板上に到達し硬質炭素膜が堆積する。このときの雰囲気圧力、温度、基板電圧を変化させることで硬度を変化させた。

【0033】次に、これらヌープ硬度の硬質炭素膜上に、高周波プラズマCVD法によるヌープ硬度1600の硬質炭素膜を $0.3\mu\text{m}$ の膜厚で積層した。高周波

(5)

特開2001-64005

8

ラズマCVD法では、メタンを原料とし、基板に高周波を印加して出来る高周波放電により原料ガスを分解、活性化させ、基板上に硬質炭素膜を堆積させた。

【0034】得られた硬質炭素膜につき、ピン・オン・ディスク法による摩擦摩耗試験を行なった。雰囲気は、軽油中およびエンジンオイル10W-40(SH)の滴下による潤滑とし、硬質炭素膜をディスク、相手材は先端曲率半径R3mmのSUJ2製ピン、加重10N、回転速度500rpm(回転速度100mm/sec)、回転*

*回数1万回とした。

【0035】1万回の摩擦試験終了時に摩擦係数を、摩擦試験後に、ディスク摩耗量の摩耗深さと相手材ピンの摩耗量の直径を測定した。また、試験前後の表面粗さについても評価した。以上の結果につき、表1、表2にまとめると。

【0036】

【表1】

No.	試料		下 層				試験層	上 層			
	材質	表面粗さ Ra	膜厚	硬度	膜厚	製 法		膜厚	硬度	膜厚	製 法
		(μm)			(μm)					(μm)	
比較例 1.1	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	800	1.2	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.2	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	1100	1.3	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.3	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	1400	1.1	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.4	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	1600	1.1	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.5	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	2200	1.2	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.6	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	8600	1.1	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.7	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	4500	1.0	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.8	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	5100	1.1	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.9	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	7600	1.2	ラズマCVD法	-	-	-	-	-
比較例 1.10	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	900	1.2	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.2	RFプラズマCVD法
比較例 1.11	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	1100	1.3	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.3	RFプラズマCVD法
比較例 1.12	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	1400	1.1	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.2	RFプラズマCVD法
比較例 1.13	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	1900	1.1	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.3	RFプラズマCVD法
実施例 1.1	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	2200	1.2	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.3	RFプラズマCVD法
実施例 1.2	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	8600	1.1	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.3	RFプラズマCVD法
実施例 1.3	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	4500	1.0	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.3	RFプラズマCVD法
実施例 1.4	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	5100	1.1	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.3	RFプラズマCVD法
実施例 1.5	SUJ2	0.05 以下	硬質炭素膜	7600	1.2	ラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1600	0.3	RFプラズマCVD法

【0037】

※ ※ 【表2】

No.	ピン・オン・ディスク試験										
	軽油中				エンジンオイル中						
	摩擦係数	摩耗深さ	相手摩耗直径	摩耗係数	摩耗深さ	相手摩耗直径	試験前		試験後		
		(μm)	(μm)		(μm)	(μm)	Re	Rmax	Re	Rmax	
比較例 1.1	0.18	0.55	210	0.063	0.49	180	0.09	0.98	0.01	0.04	
比較例 1.2	0.15	0.40	280	0.058	0.32	180	0.08	0.75	0.01	0.05	
比較例 1.3	0.16	0.18	800	0.058	0.13	280	0.09	0.95	0.02	0.09	
比較例 1.4	0.16	0.09	850	0.047	0.12	420	0.10	1.02	0.02	0.11	
比較例 1.5	0.15	0.09	680	0.039	0.07	620	0.09	0.92	0.03	0.13	
比較例 1.6	0.14	0.06	850	0.038	0.04	770	0.11	0.98	0.04	0.19	
比較例 1.7	0.18	0.06	1080	0.038	0.05	980	0.13	1.02	0.05	0.24	
比較例 1.8	0.11	0.02	1280	0.036	0.04	1080	0.14	1.33	0.07	0.33	
比較例 1.9	0.12	0.05	1400	0.038	0.05	1250	0.16	1.54	0.08	0.38	
比較例 1.10	0.15	0.15	290	0.059	0.16	140	0.05	0.48	0.01	0.06	
比較例 1.11	0.16	0.18	320	0.060	0.12	160	0.05	0.55	0.01	0.04	
比較例 1.12	0.14	0.10	390	0.067	0.13	160	0.05	0.59	0.02	0.08	
比較例 1.13	0.13	0.11	340	0.057	0.09	160	0.05	0.63	0.01	0.05	
実施例 1.1	0.11	0.09	390	0.049	0.08	180	0.06	0.73	0.02	0.06	
実施例 1.2	0.12	0.05	290	0.041	0.05	220	0.12	1.18	0.02	0.11	
実施例 1.3	0.11	0.04	360	0.035	0.05	260	0.12	1.20	0.02	0.10	
実施例 1.4	0.11	0.03	340	0.034	0.08	260	0.14	1.56	0.02	0.09	
実施例 1.5	0.10	0.05	390	0.034	0.04	280	0.15	1.40	0.02	0.09	

【0038】単層の比較例からわかるように、乾式大気中およびエンジンオイル中ともに、スラブ硬度が高くなると摩擦係数が小さくなる。しかし、同時に相手材摩耗量も増大している。これは、硬度が高い

9

(5)

特開2001-64005

10

ほど、相手を研削する効果が大きくなるためと考えられる。また、表面粗さに関しても、高硬度の硬質炭素膜はと試験後の表面粗さが大きい。

【0039】一方、上層にヌーブ硬度1600の硬質炭素膜を積層した場合も、下層の硬質炭素膜のヌーブ硬度が高いものは摩擦係数が小さくなる傾向は同様である。しかし、下層のヌーブ硬度が高い場合でも、相手材摩耗量は小さい。表面粗さに関しても、試験後の粗さが小さくなっている。硬度が低い硬質炭素膜を上層にもうけることで、平滑化が容易になされたと考えられる。なお、積層した場合でも、下層の硬質炭素膜のヌーブ硬度が低い場合は、摩擦係数は大きいままである。

【0040】続いて、SUJ2製のプランジャーの外周に実施例1、2、比較例1、6の処理を施した。実施例1、2の処理を施したプランジャーは、コーティング処理の無いものに対して30倍、比較例1、6の処理の10倍の時間、安定して作動した。

【0041】（実施例2）表面粗さRa0.18μmに*

No.	材質	表面粗さ Ra (μm)	下 層				材料層	上 層			
			膜厚	ヌーブ 硬度	膜厚 (μm)	製 法		膜厚	ヌーブ 硬度	膜厚 (μm)	製 法
実施例 3.1	窒化ケイ素	0.18	硬質炭素膜	4600	0.9	ECRプラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1000	0.3	スパッタ法
実施例 3.2	窒化ケイ素	0.18	硬質炭素膜	4600	0.9	ECRプラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1500	0.2	スパッタ法
実施例 3.3	窒化ケイ素	0.18	硬質炭素膜	4600	0.9	ECRプラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	1900	0.3	スパッタ法
実施例 3.4	窒化ケイ素	0.18	硬質炭素膜	4600	0.9	ECRプラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	800	0.3	スパッタ法
比較例 3.1	窒化ケイ素	0.18	硬質炭素膜	4600	0.9	ECRプラズマCVD法	無し	硬質炭素膜	2600	0.3	スパッタ法

【0044】

※ ※ 【表4】

No.	ピン・オン・ディスク試験									
	水 中			エンジンオイル中						
	摩擦 係数	摩耗 深さ (μm)	相手材摩 耗直径 (μm)	摩擦 係数	摩耗 深さ (μm)	相手材摩 耗直径 (μm)	試験前		試験後	
							Ra	Rmax	Ra	Rmax
実施例 2.1	0.076	0.21	200	0.039	0.16	250	0.26	1.10	0.01	0.03
実施例 2.2	0.089	0.18	180	0.036	0.13	150	0.26	1.18	0.02	0.07
実施例 2.3	0.070	0.19	280	0.038	0.03	250	0.25	0.96	0.02	0.08
実施例 2.4	0.082	0.39	160	0.049	0.35	200	0.23	0.84	0.01	0.04
比較例 2.1	0.085	0.14	480	0.040	0.06	680	0.29	1.09	0.02	0.14

【0045】摩擦係数は、いずれも小さい。しかし、摩耗深さに関しては、上層の硬質炭素膜のヌーブ硬度が800の場合0.25μm以上と大きい。また、上層の硬質炭素膜のヌーブ硬度が2500の場合は相手材磨耗性が大きく、同時に試験後の表面粗さも大きい。硬度が高い硬質炭素膜を上層にもうけた場合は平滑化の効果が小さいと考えられる。

【0046】続いて、窒化ケイ素製の軸の外周に、実施例2、2と比較例2、2の処理を施した。これらを窒化ケイ素製の軸受と組み合わせて使用したところ、実施例2、2の軸と摺動した軸受は、比較例2、2の軸と摺動した軸受の1/20の摩耗量であった。

* 仕上げた窒化ケイ素セラミックス基板上に、下層としてヌーブ硬度を4600の硬質炭素膜を形成し、上層にヌーブ硬度800から2500まで変化させた硬質炭素膜を形成した。膜厚は、下層を約1μm、上層を0.3μmとした。

【0042】ここで、下層の硬質炭素膜は、ECRプラズマCVD法で合成し、上層の硬質炭素膜はUBMスパッタ法で合成した。ECRプラズマCVD法では、原料ガスにメタンガスを適用し、マイクロ波を用いてECRプラズマを発生させ、基板上に硬質炭素膜を堆積させた。一方、UBMスパッタ法では、原料に固体炭素ターゲットを、雰囲気ガスにアセチレンを0～50%添加したアルゴンガスを導入し、ターゲットにパルスDCを印加してスパッタ蒸着を行なった。水中とエンジンオイル10W-40SH潤滑下でのピン・オン・ディスク試験により評価を行った。結果を表3、表4に示す。

【0043】

【表3】

【0047】（実施例3）表面粗さRa0.05μm以下に仕上げたアルミ合金AC8A基板上、表面粗さ平滑化した硬質炭素膜において、下層の硬質炭素膜のヌーブ硬度を4300、上層の硬質炭素膜のヌーブ硬度を1500に固定し、上層の硬質炭素膜の膜厚を0.05μmから2.0μmまで変化させた。下層、上層の硬質炭素膜は、両者ともカソードアークイオンプレーティング法で合成した。乾式とエンジンオイル10W-40SH潤滑下でのピン・オン・ディスク試験により評価を行った。結果を表5、表6に示す。

【0048】

【表5】

50

(7)

特開2001-64005

12

*【0049】
【表6】

10

20

30

*

No.	基 切		下 層			上 層			試験法
	材質	表面粗さ Ra (μm)	膜厚	膜厚 (μm)	膜厚 (μm)	膜厚 (μm)	膜厚 (μm)	膜厚 (μm)	
実施例 3.1	Al-Si合金	AC8A	0.05以下	4800	1.0	1500	0.1	0.1	0.1
実施例 3.2	Al-Si合金	AC8A	0.05以下	4800	1.0	1500	0.5	0.5	0.5
実施例 3.3	Al-Si合金	AC8A	0.05以下	4800	1.0	1500	1.0	1.0	1.0
実施例 3.4	Al-Si合金	AC8A	0.05以下	4800	1.0	1500	1.5	1.5	1.5
実施例 3.5	Al-Si合金	AC8A	0.05以下	4800	1.0	1500	2.0	2.0	2.0
実施例 3.6	Al-Si合金	AC8A	0.05以下	4800	1.0	1500	2.5	2.5	2.5

No.		ピン・オン・ディスク試験									
		乾式大気中			エンジンオイル中						
		摩擦係数	摩耗深さ (μm)	相手摩耗痕直径 (μm)	摩擦係数	摩耗深さ (μm)	相手摩耗痕直径 (μm)	試験前		試験後	
								Ra (μm)	Rmax (μm)	Ra (μm)	Rmax (μm)
実施例	3.1	0.12	0.10	340	0.038	0.09	380	0.11	1.05	0.03	0.16
実施例	3.2	0.14	0.11	280	0.041	0.15	210	0.12	1.11	0.02	0.11
実施例	3.3	0.18	0.12	280	0.037	0.12	230	0.15	1.82	0.01	0.07
実施例	3.4	0.16	0.09	830	0.048	0.13	290	0.18	1.88	0.02	0.07
実施例	3.5	0.13	0.15	1080	0.089	0.10	420	0.09	0.92	0.04	0.22
実施例	3.6	0.17	0.10	320	0.049	0.18	280	0.19	1.85	0.01	0.08

【0050】上層の硬質炭素膜の膜厚が0.05 μm と薄い場合、相手材摩耗痕直径が420 μm と大きい。このときの表面粗さRaは0.09 μm であった。一方、上層の硬質炭素膜の膜厚が2 μm と厚い場合、摩擦係数が0.049とやや大きめであった。この時の最大表面

粗さRmaxは1.85 μm であった。

【0051】続いて、アルミ合金AC8A製のエンジンのピストンスカート部に、実施例3.3、実施例3.6の処理を施した。これらの摩擦抵抗を測定したところ、未コートのピストンに対し、実施例3.3の処理を施し